

## 明 細 書

## カラーシンチレータおよびイメージセンサ

5

## 技術分野

本発明は、エネルギーや種類の異なる電磁波や放射線を識別可能に光に変換するカラーシンチレータおよびカラーシンチレータにより変換された光を画像化する  
10 イメージセンサに関する。

## 背景技術

X線や $\gamma$ 線等の放射線が物体を透過する際、物体内部における放射線の吸収や散乱は、放射線が透過する物体の形状や物体を構成する物質の種類により異なる。  
15 そこで、この性質を利用して物体を透過した放射線の強度を測定し、映像化して写真、ビデオ録画、デジタルファイル化等の記録手段で記録することにより、物体内部の破損状態、変化あるいは充填状況等の情報を得ることができる。

この物体を透過した放射線を利用することにより、物体や試料を破壊せずに物体や試料の内部の状態を測定する方法はラジオグラフィまたは非破壊放射線撮影  
20 法と呼ばれる。非破壊放射線撮影法の例としては、従来医療診断に利用される、レントゲン写真で人体の内部の状態を診察する方法が挙げられる。

尚、非破壊放射線撮影法では、放射線の代わりに紫外線や光等の電磁波を用いることもできる。

従来、医療診断や工業用非破壊検査に利用される非破壊放射線撮影法には、撮影系の感度を向上させたイメージセンサの1つである、第5図に示すX線イメージ  
25 インテンシファイヤ1が使用される。

従来のX線イメージンシファイヤ1では、電磁波や放射線、例えばX線管2から放射されて物体を透過したX線E1が、管容器3の入射面4から管容器

3内部に設けられたアルミニウム（A 1）基板4を経由してヨウ化セシウム（Cs I）等の材料で構成されたシンチレータ5に入射する。入射したX線E 1をシンチレータ5と反応させて発光させることにより光に変換し、変換された光を受光センサ6において電気信号E 2に変換する。

- 5 次に、受光センサ6で変換された電気信号E 2は、A 1基板4で閉塞されたイメージインテンシファイヤ管7内部の真空領域8において、高電圧電源9と内部電極10との作用により形成された電界の作用で絞られるとともに増幅されて出力像寸法S 1の電気信号E 2となって陽極11側に導かれる。

- さらに、イメージインテンシファイヤ管7の端部に形成された蛍光体12の出力面から画像の電気信号E 2が画像E 3に変換されて出力され、蛍光体12の出力面にレンズ13を向けて設置されたカメラ14により物体の画像E 3が撮影される。
- 10

- ここで、X線イメージインテンシファイヤ1の感度を向上させるために、シンチレータ5とX線E 1との反応領域、すなわち管容器3の入射面4における入射面有効面積S 2を大きくするということが考えられるが、入射面有効面積S 2が大きくなるにつれて測定の位置分解能が低下する。すなわち、イメージセンサの感度と分解能は互いに一方を向上させようとするとは他方が低下するという関係にある。
- 15

- そこで、入射面有効面積S 2、すなわちシンチレータ5の発光領域を大きくする代わりに、光を電気信号E 2に変換した後、電気信号E 2を増幅するように考案されて従来使用されるものがX線イメージインテンシファイヤ1である。すなわち、X線イメージインテンシファイヤ1は、電気信号E 2の電子増幅機能を備えたイメージセンサとすることができる。
- 20

- 一方、低感度で高解像度を得る方法として、放射線の照射時間を長くして積分機能により測定する方法が挙げられる。この方法には、フィルムや輝尽性蛍光シート等の記録媒体が使用される。しかし、フィルムや輝尽性蛍光シート等の記録媒体を使用した測定では、現像や読取り作業等の間接的な操作なしには物体の内部構造を画像データとして得ることができないため、リアルタイム性がない。
- 25

ところで、種類やエネルギーの異なる放射線あるいは波長の異なる紫外線や光等の電磁波を物体に透過させて測定し、放射線や電磁波の違いによる測定値の違いを把握しようとする場合には、それぞれの各放射線や電磁波について個々に測定する必要がある。

- 5      例えば、中性子線とX線E 1とを使用して測定する場合には、中性子線に反応するシンチレータ5とX線E 1に反応するシンチレータ5とを置換しなければならない。

- そこで、種類やエネルギーの異なる放射線あるいは波長の異なる電磁波を同時に測定できるように、放射線あるいは電磁波の特性を維持しつつ、種類やエネルギーの異なる放射線あるいは波長の異なる電磁波を色別で測定できるカラーシンチレータの構成や方法が考案される（例えば米国特許第6, 313, 465号明細書および日本国特開平11-271453号公報参照）。
- 10

- この異なる放射線や電磁波を色別で測定できるカラーシンチレータを備えたイメージセンサにおいても、感度向上のために入射面有効面積S 2を拡大させる方法や、カラーシンチレータの発光により生じた光を受光センサで電気信号に変換する構成の場合には、X線イメージインテンシファイヤ1やマイクロチャネルプレート等の電気増幅手段を備えたイメージセンサを用いて放射線や電磁波を電気信号に変換した後、変換された電気信号を電気増幅する方法が考案される。
- 15

- イメージセンサとしてX線イメージインテンシファイヤ1を使用した場合には、電子のエネルギーを増幅させるために第6図に示すような放射状の等電位線15を有する可変視野型電子レンズ16がイメージインテンシファイヤ管内部の真空領域8に形成され、放射状に電子の軌道17が形成される。
- 20

- このため、X線イメージインテンシファイヤ1を使用したイメージセンサでは、等電位線15の向きから幾何学的に放射線や電磁波の入力面であるカラーシンチレータと受光センサの光電変換面を曲面にしなければ電気信号E 2を電気増幅して画像E 3を結像させることができない。
- 25

この結果、第7図に示すように、放射線や電磁波、例えばX線E 1と反応するカラーシンチレータの発光部分では、カラーシンチレータへのX線E 1の入射角

度が中心部分から外周部分に近づくにつれて次第に垂直方向から斜方向へと変化する角度となる。このため、カラーシンチレータの発光部分の外周部分近傍は中心部分近傍よりも解像度が低下する。

第7図において、例えば仮にカラーシンチレータの受光センサ6の光電面側の面が点線で示す面である場合には、カラーシンチレータの厚さが比較的薄いため、カラーシンチレータの発光部分の中心部分と外周部分とにおいてX線E1と反応するカラーシンチレータの反応領域の差が小さい。このため、解像度への影響が大きくなる場合もある。

しかし、第7図に示す実際のカラーシンチレータのように一定の厚さを有する場合には、カラーシンチレータの発光部分の外周部分では、カラーシンチレータに斜方向からX線E1が入射するため、中心部分よりも外周部分においてX線E1と反応するカラーシンチレータの反応領域がより広くなる。このため、カラーシンチレータの発光部分の外周部分に近づくにつれて、X線E1と反応して生じた発光成分が急激に大きくなり解像度の低下に繋がる。

すなわち、カラーシンチレータの発光部分の外周部分における解像度を向上させるためには、X線E1のカラーシンチレータへの入射面を平面にする必要がある一方、受光センサ6において変換された電気信号を増幅させるためには、電子レンズ16を形成するためにカラーシンチレータを曲面にすることが不可欠である。

しかしながら、このような相反する要求を同時に満足するカラーシンチレータや受光センサ6の構成あるいは構造は依然考案されていない。

一方、イメージセンサとしてマイクロチャネルプレートを使用した場合には、マイクロチャネルプレートのチャンネル間隔がイメージセンサの分解能となる。このため、イメージセンサの分解能を向上させるためには、チャンネル間隔がミクロンサイズのマイクロチャネルプレートを作成する必要があるのみならず、チャンネル間の増幅特性をそろえなければならないという課題がある。

つまり、従来のシンチレータ5やイメージセンサにおいては、上述のように測定感度を向上させるために、解像度の低下が避けられない。同様に、電磁波、放

射線の種類やエネルギーの違いに応じて色別に測定することができるカラーシンチレータを用いた構成においても、解像度を下げることなく同時に感度を向上させるために電気信号を増幅できるような構成あるいは方法が求められる。

## 5 発明の開示

本発明はかかる従来の事情に対処するためになされたものであり、種類やエネルギーの異なる電磁波あるいは放射線を、より少ない線量あるいは光量でより効率よく同時に光に変換することができるカラーシンチレータを提供することを目的とする。

- 10      また、本発明の他の目的は、種類やエネルギーの異なる電磁波あるいは放射線をカラーシンチレータにより同時に光に変換し、変換された光の解像度を低下させることなく効率良く増幅させて、放射線や電磁波の種類やエネルギーの違いによる測定値の違いをより高感度で把握できるイメージセンサを提供することである。

- 15      本発明に係るカラーシンチレータは、上述の目的を達成するために、請求の範囲 1 に記載したように、光ファイバを束ねた構造を有する光学基板と、この光学基板に設けられて電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して発光し、かつ針状性または柱状性の結晶構造を有する針状性シンチレータと、この針状性シンチレータをコーティングし、かつ前記針状性シンチレータと反応する電磁波あるいは放射線と異なる種類またはエネルギーの電磁波および放射線の少なくとも一方  
20      と反応して前記針状性シンチレータと異なる色で発光するコーティング用シンチレータとを備えることを特徴とするものである。

- 25      また、本発明に係るカラーシンチレータは、上述の目的を達成するために、請求の範囲 2 に記載したように、光ファイバを束ねた構造を有する光学基板と、この光学基板に設けられて電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して発光し、かつ針状性または柱状性の結晶構造を有する針状性シンチレータと、この針状性シンチレータをコーティングし、かつ前記針状性シンチレータと反応する電磁波あるいは放射線と異なる種類またはエネルギーの電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して前記針状性シンチレータと異なる発光寿命で発光するコーティ

ング用シンチレータとを備えることを特徴とするものである。

また、本発明に係るカラーシンチレータは、上述の目的を達成するために、請求の範囲 3 に記載したように、光ファイバを束ねた構造を有する光学基板と、この光学基板に設けられて電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して発光し、かつ針状性または柱状性の結晶構造を有する針状性シンチレータと、この針状性シンチレータをコーティングし、かつ前記針状性シンチレータと反応する電磁波あるいは放射線と異なる種類またはエネルギーの電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して前記針状性シンチレータと異なる発光寿命および色で発光するコーティング用シンチレータとを備えることを特徴とするものである。

10      また、本発明に係るカラーシンチレータは、上述の目的を達成するために、請求の範囲 4 に記載したように、光ファイバを束ねた構造を有する光学基板と、この光学基板に設けられて電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して発光し、かつ針状性または柱状性の結晶構造を有する針状性シンチレータと、この針状性シンチレータをコーティングし、かつ前記針状性シンチレータと反応する電磁波あるいは放射線と異なる種類またはエネルギーの電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して前記針状性シンチレータと異なる発光条件で発光するコーティング用シンチレータとを備えることを特徴とするものである。

#### 図面の簡単な説明

- 20      第 1 図は、本発明に係るイメージセンサの第 1 の実施形態を示す構成図、  
第 2 図は、第 1 図に示すカラーシンチレータおよび受光センサの拡大断面図、  
第 3 図は、構成の異なる複数のシンチレータを用いて得られた物体の画像の一例を示す図、  
第 4 図は、本発明に係るイメージセンサの第 2 の実施形態を示す構成図、  
25      第 5 図は、従来の X 線イメージインテンシファイヤの構成図、  
第 6 図は、第 5 図に示す従来の X 線イメージインテンシファイヤにより形成される電子レンズの構造を示す図、  
第 7 図は、第 5 図に示す従来のカラーシンチレータの発光部分の拡大構成図、

である。

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明に係るカラーシンチレータおよびイメージセンサの実施の形態について  
5 添付図面を参照して説明する。

第1図は本発明に係るイメージセンサの第1の実施形態を示す構成図である。

イメージセンサの一例であるイメージインテンシファイヤ20は、レンズ21  
を備えたカラーカメラ22とともに管容器23に収納される。イメージインテン  
シファイヤ20は、高電圧電源24と一端が閉口で段差を有する管状のイメージ  
10 インテンシファイヤ管25とを備え、イメージインテンシファイヤ管25の開口  
部はカラーシンチレータ26で閉塞される。

イメージインテンシファイヤ管25の開口部に設けられたカラーシンチレータ  
26は、管容器23の開放部に配置される。そして、画像を得ようとする物体2  
7を透過した電磁波や放射線、例えば管容器23外部に配置させたX線管28か  
15 ら放射されたX線E4が、カラーシンチレータ26に形成された平面状の入射面  
29に入射するように構成される。このため、カラーシンチレータ26の管容器  
23の外部に面した部位の面積が、X線E4の入射面有効面積S3となる。

また、カラーシンチレータ26は、光学基板の一例としてのファイバーオプテ  
ィクスプレート30にX線E4等の放射線や電磁波を光に変換する機能を備えた  
20 シンチレータ層31を設け、さらにシンチレータ層31を樹脂32で保護した構  
成である。そして、カラーシンチレータ26の樹脂32が、管容器23の開放部  
に配置されてX線E4の入射面29を形成する。

カラーシンチレータ26のイメージインテンシファイヤ管25内部側には、所  
定の曲率を有する曲面が形成され、この曲面に受光センサ33が設けられる。こ  
25 の受光センサ33のカラーシンチレータ26側には、所定の曲率を有する光の入  
力面34が形成され、受光センサ33のイメージインテンシファイヤ管25内部  
側には、所定の曲率を有する光電面35が形成される。

そして、X線E4の入射面29を形成する樹脂32に入射したX線E4が、シ

ンチレータ層 31 において光に変換されてファイバーオプティクスプレート 30 を經由して受光センサ 33 において受光されるように構成される。

また、イメージインテンシファイヤ管 25 の内部には、複数の内部電極 36 が設けられる。そして、イメージインテンシファイヤ管 25 内部の各内部電極 36  
5 に、高電圧電源 24 により電圧を印加することにより、電界を形成できるように構成される。

一方、イメージインテンシファイヤ管 25 内部の閉口端近傍には陽極 37 が設けられる。さらに、イメージインテンシファイヤ管 25 内部の閉口端側内面には、出力側シンチレータ 38 が設けられる。出力側シンチレータ 38 の受光センサ  
10 33 側は、受光センサ 33 の光電面 35 の曲率に応じた所定の曲率の曲面が形成される一方、イメージインテンシファイヤ管 25 の閉口端側は平面状に形成される。

出力側シンチレータ 38 は、イメージインテンシファイヤ管 25 内部の電子を光に変換する機能を有する。この際、出力側シンチレータ 38 には、電子の強度  
15 に応じて赤色、緑色、青色の発光割合の異なる光に変換できる機能、すなわちカラーシンチレータとしての機能が備えられる。

そして、カラーシンチレータ 26 で閉塞されたイメージインテンシファイヤ管 25 の内部は、減圧されて真空領域 39 が形成される。すなわち、カラーシンチレータ 26 で閉塞されたイメージインテンシファイヤ管 25 はそれぞれ真空容器  
20 40 の一部としての機能を兼ねる。

この結果、イメージインテンシファイヤ管 25 は、受光センサ 33 の光電面 35 を陰極とする真空容器 40 を兼ねた放電管として機能し、かつ陽極 37 との間に電子レンズが形成される。すなわち、イメージインテンシファイヤ管 25、内部電極 36、高電圧電源 24、所要の曲面の陰極として機能する受光センサ 33  
25 の光電面 35 および陽極 37 により電子レンズが形成されて電界の作用により電子を加速する電気信号増幅手段が構成される。

そして、受光センサ 33 の入力面 34 において受光された光が電気信号 E5 に変換され、受光センサ 33 の光電面 35 から電気信号 E5 として放出された電子



が、電子レンズの作用により出力像寸法 S 4 の電気信号 E 5 となって増幅されて出力側シンチレータ 3 8 に照射されるように構成される。

また、イメージインテンシファイヤ管 2 5 の閉口端側には、物体 2 7 の画像を出力する出力側シンチレータ 3 8 の出力蛍光面 4 1 が平面状に形成され、出力側シンチレータ 3 8 の出力蛍光面 4 1 にカラーカメラ 2 2 のレンズ 2 1 が向けられる。そして、出力側シンチレータ 3 8 に照射された増幅電気信号 E 5 は、カラー画像 E 6 に変換されて出力蛍光面 4 1 において結像し、カラーカメラ 2 2 でカラー画像 E 6 を撮影できるように構成される。

次に、カラーシンチレータ 2 6 および受光センサ 3 3 の詳細構成例について説明する。

第 2 図は第 1 図に示すカラーシンチレータ 2 6 および受光センサ 3 3 の拡大断面図である。

カラーシンチレータ 2 6 は、例えば CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) センサや CCD (Charge Coupled Device) センサ等の受光センサ 3 3 の入力面 3 4 側に設けられる。

尚、CMOS センサや CCD センサ等の受光センサ 3 3 で変換した電気信号 E 5 をイメージインテンシファイヤ管 2 5 内で増幅してからカメラで撮影する構成とせずに、CMOS カメラや CCD カメラ等の受光素子を備えたカメラでカラーシンチレータ 2 6 からの光を撮影するように構成してもよい。

カラーシンチレータ 2 6 は、ファイバーオプティクスプレート 3 0 にシンチレータ層 3 1 を重ねて設けた構成である。このとき、ファイバーオプティクスプレート 3 0 とシンチレータ層 3 1 の境界面は平面状に形成される。すなわち、ファイバーオプティクスプレート 3 0 の光の入射側であるシンチレータ層 3 1 側は平面に形成される一方、光の出力側である受光センサ 3 3 側は曲面状に形成される。

さらに、シンチレータ層 3 1 のファイバーオプティクスプレート 3 0 と逆側の面は平面状に形成されて、平面シート状の保護膜である樹脂 3 2 で保護される。

カラーシンチレータ 2 6 のシンチレータ層 3 1 は針状性シンチレータ 5 0 をコ

ーティング用シンチレータ 51 でコーティングした構成である。そして、ファイバーオプティクスプレート 30 側に針状性シンチレータ 50 が設けられ、針状性シンチレータ 50 のファイバーオプティクスプレート 30 と逆側の部位が、コーティング用シンチレータ 51 でコーティングされる。

5       シンチレータ層 31 の針状性シンチレータ 50 は、一端が尖形となった針状性あるいは柱状性の結晶構造の複数のセルで構成される。このため、針状性シンチレータ 50 は、光ファイバを束ねた構造となる。針状性シンチレータ 50 内部の光はセル内部において全反射しながら 1 方向に進行するため、カラーシンチレータ 26 の感度の低下を抑制することができる。

10       このため、さらに針状性シンチレータ 50 の厚さを増加させると、X線 E4 との反応領域が増加するためイメージインテンシファイヤ 20 の感度を向上させることができる。しかし、針状性シンチレータ 50 の厚さが十分に厚い場合には、斜方向から入射した X線 E4 と反応する針状性シンチレータ 50 の反応領域は垂直方向から入射した X線 E4 と反応する針状性シンチレータ 50 の反応領域より  
15       りも広くなるため、針状性シンチレータ 50 の周辺部分は中央部分に比べて解像度が低下する恐れがある。

そこで、針状性シンチレータ 50 の厚さを増加させて感度を向上させても解像度の低下を少なく抑えるために、針状性シンチレータ 50 の X線 E4 の入射側は、コーティング用シンチレータ 51 によりコーティングされる。

20       コーティング用シンチレータ 51 は、粒径が数ミクロンから数十ミクロンの複数種類の粉末状シンチレータ微粒子を組合せて構成される。このため、コーティング用シンチレータ 51 の作用により X線 E4 の斜方向成分が軽減され、針状性シンチレータ 50 の厚さを増加させて感度を向上させても解像度の低下を少なく抑えることができる。

25       ここで、シンチレータ層 31 の材料構成例について説明する。

カラーシンチレータ 26 には、エネルギーや種類の異なる放射線や電磁波に対してそれぞれ異なる反応を示しようにエネルギーや種類の異なる放射線や電磁波の分離識別機能が備えられる。このため、カラーシンチレータ 26 のシンチレータ層

31を構成する材料には、各エネルギーや種類の放射線や電磁波と反応する蛍光体が用いられる。

すなわち、針状性シンチレータ50とコーティング用シンチレータ51は少なくとも互いに異なる蛍光体を含む。針状性シンチレータ50は、単一あるいは複数の蛍光体で構成され、コーティング用シンチレータ51も同様に単一あるいは複数の蛍光体で構成される。

まず、異なる種類の放射線ないし電磁波を色別に同時測定する場合におけるカラーシンチレータ26の材料構成例について説明する。

カラーシンチレータ26に入射させる放射線が、熱中性子線とX線あるいは $\gamma$ 線の場合には、熱中性子線に対して反応する元素を含む蛍光体とX線あるいは $\gamma$ 線に対して反応する元素を含む蛍光体とが選択される。

熱中性子線に対して反応する元素を含む蛍光体としては、例えば熱中性子と( $n, \gamma$ )反応を起こすガドリニウム(Gd)元素を含む蛍光体や熱中性子と( $n, \alpha$ )反応を起こすホウ素( $^{10}\text{B}$ )やリチウム( $^6\text{Li}$ )を含む蛍光体が挙げられる。

Gd元素を含む蛍光体に熱中性子線を入射させた場合には、熱中性子とGdとの熱中性子反応は反応断面積が比較的大きいため、蛍光体の厚さが150ミクロン程度であっても熱中性子線は蛍光体を透過することがないが、エネルギーの高いX線や $\gamma$ 線は、Gd元素を含む蛍光体の厚さを500ミクロンにしても蛍光体を透過してしまう。

ここで、受光センサ33が、CMOSセンサあるいはCCDセンサ等の受光センサ33である場合や、CMOSカメラやCCDカメラ等の受光素子を備えたカメラでカラーシンチレータ26からの光を撮影する構成の場合には、針状性シンチレータ50として受光変換効率が高いヨウ化セシウムCsIを用いることが有効である。

そこで、熱中性子線との反応用の蛍光体としてユウロピウム活性化硫酸化ガドリニウム $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$ (Eu)で構成される赤色蛍光体をコーティング用シンチレータ51に用いることができる。

一方、X線や $\gamma$ 線との反応用の蛍光体としてCsIで構成される蛍光体を針状性シンチレータ50として用いることができる。CsIで構成される蛍光体としては、発光する光の主波長が540nmのタリウム活性化ヨウ化セシウムCsI (T1) で構成される緑色蛍光体または発光する光の主波長が420nmのナトリウム活性化ヨウ化セシウムCsI (Na) で構成される青色蛍光体の2種類の蛍光体が主に挙げられる。

尚、針状性シンチレータ50としてCsIを用いた場合には、CsIは吸湿性を有し性能低下に繋がる恐れがあるため、CsIで針状性シンチレータ50を形成した後、保護用に炭化ケイ素SiC等の保護材でコーティングすることが望ましい。

また、X線や $\gamma$ 線に対する感度を向上させるためにGd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S (Eu) で構成される赤色蛍光体とCsIで構成される針状性シンチレータ50との間に熱中性子との反応断面積が小さい緑色蛍光体であるテルビウム活性化硫酸化ランタンLa<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S (Tb) や赤色蛍光体であるテルビウム活性化硫酸化イットリウムY<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S (Tb) をコーティング用シンチレータ51あるいは針状性シンチレータ50として設けて3層構造とすることも可能である。

すなわち、シンチレータ層31をGd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S (Eu) 、La<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S (Tb) あるいはY<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S (Tb) およびCsIの3層構造とれば、シンチレータ層31は熱中性子と反応して赤色成分の光を発光する一方、X線あるいは $\gamma$ 線と反応して緑色成分の光を発光するため、熱中性子線とX線や $\gamma$ 線等の電磁波を色別に測定することができる。

一方、カラーシンチレータ26に入射させる放射線が、 $\beta$ 線とX線あるいは $\gamma$ 線の場合には、 $\beta$ 線に対して反応する元素を含む蛍光体とX線あるいは $\gamma$ 線に対して反応する元素を含む蛍光体を選択される。

$\beta$ 線の飛程距離は、X線や $\gamma$ 線の飛程距離と比較して短いため、カラーシンチレータ26に入射させる放射線が、熱中性子線とX線あるいは $\gamma$ 線の場合に用いられるシンチレータ層31の材料構成と同一の材料構成のシンチレータ層31を用いることができる。

また、 $Gd_2O_2S$  (Eu) で構成されるコーティング用シンチレータ 51 と CsI で構成される針状性シンチレータ 50 との間に Gd 元素を含まない赤色蛍光体のユウロピウム活性化硫酸化イットリウム  $Y_2O_2S$  (Eu) や緑色蛍光体であるユウロピウム活性化硫酸化ランタン  $La_2O_2S$  (Eu) を設けて 3 層構造のシンチレータ層 31 としても同様に  $\beta$  線と X 線あるいは  $\gamma$  線を色別に分離させて同時に測定することができる。

同様に、カラーシンチレータ 26 に入射させる放射線ないし紫外線が、紫外線と X 線あるいは  $\gamma$  線の場合にも、紫外線に対して反応する元素を含む蛍光体と X 線あるいは  $\gamma$  線に対して反応する元素を含む蛍光体を選択してシンチレータ層 31 を構成することにより、紫外線と X 線あるいは  $\gamma$  線を色別に分離させて同時に測定することができる。

次に、異なるエネルギーの放射線ないし電磁波を色別に同時測定する場合におけるカラーシンチレータ 26 の材料構成例について説明する。

異なるエネルギーの放射線ないし電磁波を色別に同時測定する場合には、シンチレータ層 31 を構成する元素の K 吸収端の違いとエネルギー吸収係数や比重との関係が利用される。すなわち、放射線ないし電磁波、例えば X 線のエネルギーが小さいほどシンチレータ層 31 を構成する元素のエネルギー吸収係数が大きく、シンチレータ層 31 を構成する元素の比重が大きい程、短い飛程距離で放射線ないし電磁波との反応量が多くなるという構成元素の性質を利用することができる。

そこで、コーティング用シンチレータ 51 として赤色蛍光体である  $Y_2O_2S$  (Eu) や  $Gd_2O_2S$  (Eu) を用いることができる。 $Y_2O_2S$  (Eu) は比重 4.9 で K 吸収端が 17 keV であり、 $Gd_2O_2S$  (Eu) は比重 7.3 で K 吸収端が 50.2 keV である。

また、針状性シンチレータ 50 には、緑色蛍光体である CsI (Tl) が用いられる。

さらに、感度を向上させるために緑色蛍光体である CsI (Tl) と赤色蛍光体である  $Y_2O_2S$  (Eu) や  $Gd_2O_2S$  (Eu) との間に比重が 7.9 で K 吸収端が 69.5 keV の緑色蛍光体であるタングステン酸カドミウム  $CdWO_4$

を設けてシンチレータ層 31 を 3 層構造とすることが有効である。

CsI (Tl)、CdWO<sub>4</sub>およびY<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S (Eu) あるいはGd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S (Eu) の 3 層構造のシンチレータ層 31 にエネルギーの異なる X 線が入射すると、シンチレータ層 31 は、エネルギーの低い X 線成分との反応により赤色の光が発光し、  
5 エネルギーの高い X 線成分との反応により緑色の光が発光するように構成される。

また、コーティング用シンチレータ 51 として赤色蛍光体であるY<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S (Eu) やGd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S (Eu) を、針状性シンチレータ 50 として青色蛍光体であるCsI (Na) をそれぞれ用いるとともに、K 吸収端が 69.5 keV で比重が  
10 6.1 の青色蛍光体であるタングステン酸カルシウム (灰重石) CaWO<sub>4</sub>を設けて 3 層構造とすれば、エネルギーの異なる X 線を赤色の光と青色の光とに分離させて変換することができる。

次に、異なるエネルギーや種類の放射線ないし電磁波を色別ではなく、蛍光体の発光寿命の違いを利用して同時に測定する場合におけるカラーシンチレータ 26  
15 の材料構成例について説明する。

シンチレータ層 31 を発光寿命、すなわち輝度が 1 / 10 になるまでに要する時間の異なる蛍光体で構成することにより、異なるエネルギーや種類の放射線ないし電磁波を識別することができる。

例えば、針状性シンチレータ 50 として用いられる青色蛍光体であるCsI (Na) の発光寿命は 0.63 μs であり比較的と短い、CsI (Na) と発光色  
20 が同じ青色である青色蛍光体のCaWO<sub>4</sub>の発光寿命は 10 μs でありCsI (Na) の発光寿命よりも十分に長い。

このため、CsI (Na) とCaWO<sub>4</sub>とで構成されるシンチレータ層 31 にエネルギーの異なる X 線をパルス照射すれば、CsI (Na) とCaWO<sub>4</sub>の発光  
25 色が互いに同じ青色であるものの、X 線をエネルギーごとに識別可能に観測することができる。すなわち、画像の観測をシンチレータ層 31 の X 線との反応による発光時間よりも遅くすれば、CsI (Na) とCaWO<sub>4</sub>の発光色が互いに同じ青色であるものの、CsI (Na) とCaWO<sub>4</sub>の発光寿命の相違により、光が

CsI (Na) の発光によるものか  $\text{CaWO}_4$  の発光によるものかを識別することができるため、エネルギーの異なる X 線をエネルギーごとに同時に観測することができる。

同様に、緑色蛍光体である  $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$  (Tb) の発光寿命は 2.7 ms であり、  
5 赤色蛍光体である  $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$  (Eu) の発光寿命は 2.5 ms である。このため、  
発光寿命の異なる蛍光体でシンチレータ層 31 を構成すれば、観測時間を調整することにより放射線あるいは電磁波をエネルギーあるいは種類ごとに観測することができる。

さらに、発光寿命のみならず発光色の異なる蛍光体でシンチレータ層 31 を構  
10 成することにより、カラーシンチレータ 26 の識別性能を向上させることができる。

一方、カラーシンチレータ 26 の樹脂 32 には、例えばポリエチレンテレフタレート等の材料が用いられる。樹脂 32 の色が白色の場合には、カラーシンチレータ 26 で発光した光を受光センサ 33 側に反射させる反射膜としての機能を有  
15 するため、感度向上が望める。

また、樹脂 32 の色が無色透明の場合や樹脂 32 の材質が紫外線に対して透過しやすい材質の場合には、紫外線から短波長の光までの電磁波を励起光源として測定することが可能となる。例えば、放射線やレーザー光と物質が反応して発光した紫外線を信号として検出するイメージセンサを構成する場合や紫外線を光源とする紫外線顕微鏡等のイメージセンサを構成する場合に利用できる。  
20

また、ファイバーオプティクスプレート 30 は、針状性シンチレータ 50 の構造に整合するように光ファイバを束ねた構造であり、複数の柱状に形成される。このため、ファイバーオプティクスプレート 30 は、光を減衰させることなく伝送する機能を有する。すなわち、受光センサ 33 として受光面が平面の CMOS  
25 センサや CCD センサを用いれば、レンズ等の非効率な伝送手段ではなく、光を効率的に伝送可能なファイバーオプティクスプレート 30 を光学基板として用いることができる。

また、ファイバーオプティクスプレート 30 は、シンチレータ層 31 を透過し

たX線等の放射線を遮蔽する機能を有する。すなわち、測定対象がX線や $\beta$ 線等の放射線の場合には、シンチレータ層31を透過した放射線によりCMOSセンサやCCDセンサ等の受光センサ33が損傷される恐れがある。そこで、受光センサ33を放射線から遮蔽させるためにファイバーオプティクスプレート30が  
5 設けられる。

さらに、受光センサ33で変換された電気信号E5を増幅させるために電子レンズを形成させるためには、カラーシンチレータ26で閉塞されたイメージインテンシファイヤ管25の内部を真空状態としなければならない。そこで、例えば、一定の強度を有する細いガラスを複数本束ねたファイバーオプティクスプレート30をカラーシンチレータ26の光学基板として用いることにより、イメージ  
10 インテンシファイヤ管25の内部を真空状態に保つことができるように、カラーシンチレータ26に所要の強度を付加させることができる。

また、受光センサ33には、カラーフィルタ等のフィルタ機構52とタイミング調整機構53とが設けられる。受光センサ33のフィルタ機構52は、受光させる光の波長を選別する機能を有する。このため、受光センサ33は、カラーシンチレータ26で発光した種々の波長の光から所要の波長の光を選別して受光することができる。すなわち、カラーシンチレータ26でエネルギーや種類の異なる放射線や電磁波が色別に光に変換された場合には、適切に放射線や電磁波を識別  
15 できるように光を電気信号E5に変換することができる。

また、受光センサ33のタイミング調整機構53は、カラーシンチレータ26で発光した光を受光するタイミングを調整する機能を有する。このため、カラーシンチレータ26でエネルギーや種類の異なる放射線や電磁波が発光寿命の異なる蛍光体により光に変換された場合には、適切なタイミングで光を受光し、放射線  
20 や電磁波を識別できるように光を電気信号E5に変換することができる。

タイミング調整機構53の例としては、受光のタイミングと測定時間ゲートをコントロールするためのタイミング調整回路が挙げられる。

次に、イメージインテンシファイヤ20の作用について説明する。

まず、エネルギーや種類の異なる電磁波や放射線が画像化しようとする物体27



に照射される。例えば、X線管28から画像化しようとする物体27にエネルギーの異なるX線E4が放射される。このため、物体27を透過したX線E4は、イメージインテンシファイヤ20のカラーシンチレータ26に形成されたX線E4の入射面29に入射する。

- 5      カラーシンチレータ26の入射面29に入射したX線E4は、樹脂32の一例である白色ペットを透過してシンチレータ層31内部に入射し、シンチレータ層31は入射したX線E4と反応して発光する。このとき、X線E4の一部は、コーティング用シンチレータ51を透過して針状性シンチレータ50に入射するため、コーティング用および針状性シンチレータ50の双方がX線E4と反応して
- 10      発光する。

ここで、コーティング用シンチレータ51に用いられる蛍光体と針状性シンチレータ50に用いられる蛍光体は、互いに種類やエネルギーの異なる放射線あるいは電磁波に対して反応するように構成されているため、各蛍光体は、それぞれ高エネルギーのX線E4および低エネルギーのX線E4と反応して発光する。

- 15      例えば、異なる発光色の蛍光体がコーティング用シンチレータ51および針状性シンチレータ50に用いられている場合には、各蛍光体は、それぞれ高エネルギーのX線E4および低エネルギーのX線E4と反応して異なる色を発光させる。

- また、異なる発光寿命の蛍光体がコーティング用および針状性シンチレータ50に用いられている場合には、各蛍光体は、それぞれ高エネルギーのX線E4および低エネルギーのX線E4と反応して異なる発光寿命で発光させる。
- 20      発光させる。

このため、コーティング用シンチレータ51および針状性シンチレータ50において、X線E4はエネルギーごとに識別可能に光に変換される。

- ところで、シンチレータ層31に入射したX線E4のエネルギーが高い場合には、X線E4と反応するコーティング用シンチレータ51の領域が広がるため、
- 25      コーティング用シンチレータ51内部においてエネルギーを失わずに透過して針状性シンチレータ50に到達するX線E4の割合が増加する。

また、コーティング用シンチレータ51との反応量が小さいエネルギーのX線E4は、コーティング用シンチレータ51を透過して針状性シンチレータ50に到

達する。

しかし、コーティング用シンチレータ 5 1 と針状性シンチレータ 5 0 の界面は凹凸形状となっているため、コーティング用シンチレータ 5 1 で発光した光は、効率的に針状性シンチレータ 5 0 の内部に入射する。さらに、樹脂 3 2 は白色の  
5 白色ペットで構成されているため、樹脂 3 2 側に散乱した光は、白色ペットで反射して針状性シンチレータ 5 0 に入射する。

針状性シンチレータ 5 0 に入射した光および針状性シンチレータ 5 0 で X 線 E 4 と反応して発光した光は、針状性シンチレータ 5 0 の柱状のセル内部を全反射しながらファイバーオプティクスプレート 3 0 および受光センサ 3 3 側に進行す  
10 る。このため、針状性シンチレータ 5 0 内部において光の散乱が抑制される。

すなわち、針状性シンチレータ 5 0 は、光ファイバを束ねた構造であるため、光ファイバ内部を進行する光と同様に散乱が抑制される。このため、針状性シンチレータ 5 0 内部の画像信号である光を、解像度を低下させることなく一定の方向、すなわちファイバーオプティクスプレート 3 0 および受光センサ 3 3 に伝達  
15 させることができる。

針状性シンチレータ 5 0 を経由した光は光ファイバを束ねた構造のファイバーオプティクスプレート 3 0 内部を針状性シンチレータ 5 0 内部と同様に全反射しながら進行して受光センサ 3 3 に到達する。

ここで、針状性シンチレータ 5 0 をも透過したエネルギーの大きい X 線 E 4 は、  
20 ファイバーオプティクスプレート 3 0 内部において減衰せしめられる。すなわち、ファイバーオプティクスプレート 3 0 により受光センサ 3 3 に向かう X 線 E 4 が遮蔽される。

次に、シンチレータ層 3 1 で発生した光は、ファイバーオプティクスプレート 3 0 を経由して受光センサ 3 3 の受光面で受光され、光電面 3 5 において電気信号 E 5 に変換される。この際、受光センサ 3 3 のフィルタ機構 5 2 により受光させる光の波長が調整されるとともにタイミング調整機構 5 3 により光を受光させるタイミングが調整される。このため、シンチレータ層 3 1 において異なる色あ  
25 るいは発光寿命で生じた光は、受光センサ 3 3 のフィルタ機構 5 2 およびタイミ

ング調整機構 53 により選別せしめられる。

そして、受光センサ 33 において変換させた電気信号 E5 は、カラーシンチレータ 26 で閉塞されたイメージインテンシファイヤ管 25 の内部の真空領域 39 に導かれる。すなわち、イメージインテンシファイヤ管 25 は、受光センサ 33  
5 の光電面 35 を陰極とする真空容器 40 を兼ねた放電管として機能し、電気信号 E5 は、電子となって陽極 37 側に進行する。

この際、イメージインテンシファイヤ管 25 の内部の内部電極 36 には、高電圧電源 24 により印加された電圧の作用により電界が形成される。さらに、受光センサ 33 の光電面 35 の曲率と出力側シンチレータ 38 の曲率とに応じた電子  
10 レンズが、イメージインテンシファイヤ管 25 内部の受光センサ 33 の光電面 35 と陽極 37 との間に形成される。

この結果、イメージインテンシファイヤ管 25 の内部の真空領域 39 に導かれた電子は、電界の作用により加速されて陽極 37 側に進行し、出力側シンチレータ 38 に照射される。この際、電気信号 E5 は電子レンズの作用により出力像寸  
15 法 S4 の画像の電気信号 E5 に増幅される。

次に、出力側シンチレータ 38 において、電気信号 E5 はカラー画像 E6 に変換されて出力蛍光面 41 において結像し、カラーカメラ 22 により撮影される。この結果、物体 27 を透過した X 線 E4 はエネルギーごとに異なる色または発光寿命の光により構成されたカラー画像 E6 に画像化され、エネルギーの異なる X 線 E  
20 4 によりそれぞれ物体 27 内部の状況を確認することができる。

この際、出力側シンチレータ 38 を電子の強度に応じて赤色、緑色、青色の発光割合の異なる光に変換できるカラーシンチレータとすることにより、発光寿命の異なる蛍光体から生じた光は時間に応じてそれぞれの強度の電子となって出力側シンチレータ 38 に照射されるため、出力側シンチレータ 38 の出力蛍光面 4  
25 1 には放射線あるいは電磁波のエネルギーあるいは種類ごとに異なる色でカラー画像 E6 が出力される。

イメージインテンシファイヤ 20 のカラーシンチレータ 26 によれば、シンチレータ層 31 を針状性あるいは柱状性の針状性シンチレータ 50 と微粒子状のコ

ーティング用シンチレータ 5 1 とで構成したため、シンチレータ層 3 1 で生じた光の進行方向が限定されて損失が低減されるとともに、放射線ないし電磁波とシンチレータ層 3 1 との反応領域の広さが均一化され、解像度を低下させることなく感度を向上させることができる。

5       また、カラーシンチレータ 2 6 では、シンチレータ層 3 1 を構成する針状性シンチレータ 5 0 とコーティング用シンチレータ 5 1 とを、それぞれ互いにエネルギーや種類の異なる電磁波や放射線と反応して色ないし発光寿命の異なる光を発生させる蛍光体で構成したため、同時にエネルギーや種類の異なる放射線ないし電磁波を識別可能に画像化することができる。

10       さらに、カラーシンチレータ 2 6 をエネルギーや種類の異なる電磁波や放射線との反応により発光色および発光寿命の双方が異なる蛍光体で構成することにより、より高感度でエネルギーや種類の異なる電磁波や放射線を同時に画像化することができる。

15       また、イメージインテンシファイヤ 2 0 によれば、従来曲面であったシンチレータ層 3 1 を平面としたため、シンチレータ層 3 1 の周辺部の解像度を低下させることなくシンチレータ層 3 1 の厚さを厚くして感度を向上させることができる。さらに、従来イメージインテンシファイヤ 2 0 の課題となっていた中心部と周辺部の解像度の差を小さくするとともに、放射線や電磁波の入射面有効面積  $S_3$  を大きくとることが可能である。

20       同様にイメージインテンシファイヤ 2 0 によれば、出力側シンチレータ 3 8 の受光センサ 3 3 側を電子レンズを形成させるために所定の曲率を有する曲面とする一方、カラーカメラ 2 2 側の出力蛍光面 4 1 を平面状に形成することにより、歪の少ない画像を得ることが可能となる。

25       また、イメージインテンシファイヤ 2 0 によれば、受光センサ 3 3 として、平面型の CMOS センサや CCD センサを用いることにより、シンチレータ層 3 1 において変換された光をレンズ等の伝送手段ではなく、ファイバーオプティクスプレート 3 0 により受光センサ 3 3 に伝送させることができる。このため、イメージインテンシファイヤ 2 0 では、より明瞭な画像を得ることができる。

また、一般的には、真空容器40を形成させるための部品と、真空容器40内部に設けられる受光センサ33や内部電極36等の部品は、個々の部品として取扱われる。

一方、イメージインテンシファイヤ20は、カラーシンチレータ26の光学基板であるファイバーオプティクスプレート30によりイメージインテンシファイヤ管25を閉塞して真空領域39を形成する構造であるため、従来イメージインテンシファイヤ管25を閉塞するために用いられた不透明なA1基板が不要となる。

このため、イメージインテンシファイヤ20によれば、白色あるいは透明な樹脂32を保護膜としてカラーシンチレータ26に設けることが可能となり、低エネルギーのX線や紫外線、短波長の光等のエネルギーの小さい放射線や電磁波に対する感度を向上させることができる。特に従来問題となっていた低エネルギーの放射線や電磁波のA1基板による吸収を回避させて、感度の低下を抑制することができる。

第3図は、構成の異なる複数のシンチレータを用いて得られた物体の画像の一例を示す図である。

第3図において、矢印1で示す部位は、物体を透過したX線を $Gd_2O_2S(Eu)$ で構成した赤色シンチレータのみで光に変換してCCDカメラで撮影して得られた画像である。

矢印2.5で示す部位は、ファイバーオプティクスプレート30に $CsI(Tl)$ で構成される針状性シンチレータ50を設け、針状性シンチレータ50を $Gd_2O_2S(Eu)$ の赤色シンチレータで構成されるコーティング用シンチレータ51でコーティングした後、さらに白色ペットで構成される樹脂32で保護したカラーシンチレータ26によりX線を光に変換してCCDカメラで撮影して得られた画像である。

矢印2.1で示す部位は、ファイバーオプティクスプレート30に $CsI(Tl)$ で構成される針状性シンチレータ50を設け、針状性シンチレータ50を $Gd_2O_2S(Eu)$ の赤色シンチレータで構成されるコーティング用シンチレータ

51でコーティングしたカラーシンチレータ26、すなわち樹脂32で保護されないカラーシンチレータ26によりX線を光に変換してCCDカメラで撮影して得られた画像である。

矢印1. 6で示す部位は、ファイバーオプティクスプレート30にCsI (T1) で構成される針状性シンチレータ50を設けた、従来使用される高感度シンチレータによりX線を光に変換してCCDカメラで撮影して得られた画像である。

尚、 $Gd_2O_2S$  (Eu) で構成される赤色シンチレータの厚さは約70ミクロン、CsI (T1) の厚さは約500ミクロンとした。

10 また、各矢印の数字は、赤色シンチレータの発光量を1に規格化したときの、各カラーシンチレータ26の相対発光量を示す。すなわち、矢印2. 5で示すファイバーオプティクスプレート30、CsI (T1)、 $Gd_2O_2S$  (Eu)、白色ペットで構成されるカラーシンチレータ26の発光量は、赤色シンチレータの発光量の2. 5倍であることを示す。

15 同様に、矢印2. 1で示すファイバーオプティクスプレート30、CsI (T1)、 $Gd_2O_2S$  (Eu) で構成されるカラーシンチレータ26の発光量は、赤色シンチレータの発光量の2. 1倍であり、矢印1. 6で示すファイバーオプティクスプレート30、CsI (T1) で構成されるカラーシンチレータ26の発光量は、赤色シンチレータの発光量の1. 6倍であることを示す。

20 第3図によれば、ファイバーオプティクスプレート30およびCsI (T1) で構成され、従来使用される高感度シンチレータに、 $Gd_2O_2S$  (Eu) や白色ペットを構成要素として加えることにより、より輝度が向上することが分かる。

特に、ファイバーオプティクスプレート30、CsI (T1)、 $Gd_2O_2S$  (Eu)、白色ペットで構成されるカラーシンチレータ26では、ファイバーオプティクスプレート30およびCsI (T1) で構成され、従来使用される高感度シンチレータよりも輝度が60%向上していることが分かる。

尚、ファイバーオプティクスプレート30、CsI (T1)、 $Gd_2O_2S$  (Eu)、白色ペットで構成されるカラーシンチレータ26の厚さは、ファイバーオ

プティクスプレート30およびCsI(T1)で構成される高感度シンチレータの厚さより約10%厚い。

しかし、ファイバーオプティクスプレート30およびCsI(T1)で構成される高感度シンチレータでファイバーオプティクスプレート30、CsI(T1)  
5)、Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S(Eu)、白色ペットで構成されるカラーシンチレータ26の輝度と同等の輝度を得るためには、ファイバーオプティクスプレート30およびCsI(T1)で構成される高感度シンチレータの厚さを最低でも500ミクロンから800ミクロン以上にしなければならない計算となる。

尚、カラーシンチレータ26や高感度シンチレータに斜方向からX線の照射がある場合には幾何学的に解像度が厚さに比例して最大60%程度低下することが知られる。このため、ファイバーオプティクスプレート30およびCsI(T1)で構成される高感度シンチレータの厚さを増加させてファイバーオプティクスプレート30、CsI(T1)、Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S(Eu)、白色ペットで構成されるカラーシンチレータ26の輝度と同等の輝度を得たとしても斜方向から入射する  
15) X線の解像度の低下が避けられないということが分かる。

一方、ファイバーオプティクスプレート30、CsI(T1)、Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S(Eu)、白色ペットでカラーシンチレータ26を構成すれば、厚さを極端に増加させずに斜方向から入射するX線の解像度の低下を抑制しつつ感度を向上できることが分かる。

尚、イメージインテンシファイヤ20において、光学基板としてファイバーオプティクスプレート30の代わりにガラスを用いてもよい。また、カラーカメラ22の代わりにカラー受光センサ33等の画像化手段を設けてもよい。さらに、出力側シンチレータ38をカラーシンチレータとせずに単色の蛍光体で構成し、カラーカメラ22の代わりにカメラや受光センサ33等の画像化手段で単色画像  
25) としてとして撮影する構成としてもよい。

また、電気信号増幅手段は、電子レンズにより電気信号E5を増幅させる構成のみならず、その他の方法を利用した電気信号増幅手段であってもよい。

また、受光センサ33にタイミング調整機構53やフィルタ機構52を設けな

い構成としてもよい。さらに、受光センサ33にタイミング調整機構53を設けずに、カラーカメラ22のゲートの時間を調節することにより異なる発光寿命の蛍光体の発光により得られたカラー画像E6を分離する構成としてもよい。

例えば、中性子とX線ないし $\gamma$ 線をカラーシンチレータ26に入射させて同時に画像化する場合において、熱中性子と反応する緑色蛍光体である $Gd_2O_2S$  (Tb) をコーティング用シンチレータ51として、熱中性子と反応せずにX線や $\gamma$ 線と反応する青色蛍光体であるCsI (Na) を針状性シンチレータ50としてカラーシンチレータ26を構成する一方、出力側シンチレータ38を電子線の強度に応じて赤色、緑色、青色の発光割合の異なる光を出力蛍光面41に発光する $Y_2O_2S$  (Eu) で構成されるカラーシンチレータとすれば、カラーカメラ22の入力のゲートを調整して発光時間を遅らせることにより、放射線ごとに色別にカラー画像E6で同時撮影することができる。

このため、中性子とX線ないし $\gamma$ 線をカラーシンチレータ26に入射させる場合のように、シンチレータ層31において色別に光に変換されたとしても、光を電気信号E5に変換して増幅する際に色情報が失われ、増幅後の電気信号E5からは放射線の種類が識別できないという従来の問題が解決される。

第4図は本発明に係るイメージセンサの第2の実施形態を示す構成図である。

尚、第4図に示すイメージセンサ60において、第1図に示すイメージインテンシファイヤ20と同等の構成には同符号を付してある。

イメージセンサ60は、カラーシンチレータ26とカラーカメラ22とを暗箱61内部に配置した構成である。暗箱61には開放部が設けられ、この暗箱61の開放部にカラーシンチレータ26が、暗箱61外部からのX線を入射させることができるように入射面29を暗箱61外部に向けて配置される。

カラーシンチレータ26は、光学基板としての鉛ガラス62にシンチレータ層31を重ねて設けた構成である。このとき、鉛ガラス62とシンチレータ層31の境界面は平面状に形成される。さらに、シンチレータ層31の鉛ガラス62と逆側の面は平面状に形成されて、平面シート状の樹脂32で保護される。

カラーシンチレータ26のシンチレータ層31は針状性あるいは柱状性の複数



のセルで構成される針状性シンチレータ 50 をコーティング用シンチレータ 51 でコーティングした構成である。そして、鉛ガラス 62 側に針状性シンチレータ 50 が設けられ、針状性シンチレータ 50 の鉛ガラス 62 と逆側の部位が、コーティング用シンチレータ 51 でコーティングされる。

- 5      また、カラーシンチレータ 26 の鉛ガラス 62 の暗箱 61 内部側は平面状に形成され、鉛ガラス 62 に対向する位置にカラーカメラ 22 が配置される。

すなわち、イメージセンサ 60 のカラーシンチレータ 26 は、第 2 図に示すカラーシンチレータ 26 の光学基板であるファイバーオプティクスプレート 30 を鉛ガラス 62 に置換した構成である。

- 10      一般的にファイバーオプティクスプレート 30 の透過率は、透過する電磁波や放射線の波長にも依存するが、同じ厚さの鉛ガラス 62 の透過率よりも光学特性上小さい。

そこで、カラーシンチレータ 26 で発光した光を直接確認できる場合には、カラーシンチレータ 26 の光学基板を鉛ガラス 62 として、カラーシンチレータ 26 で発光した光をカラーカメラ 22 で撮影する構成とすることにより感度を向上させることができる。

- 15      また、カラーシンチレータ 26 の光学基板として鉛ガラス 62 を利用することにより、カラーシンチレータ 26 に入射した電磁波や放射線がカラーカメラ 22 に入射しないように遮蔽することができる。

- 20      このため、イメージセンサ 60 では、第 1 図に示すイメージインテンシファイヤ 20 と同様に解像度の低下を抑制しつつ感度を向上させることができるのみならず、カラーカメラ 22 等の撮影系を電磁波や放射線から保護することができる。

- 25      尚、イメージインテンシファイヤ 20 およびイメージセンサ 60 において、測定対象として X 線に限らず、短波長の光や紫外線等の電磁波および  $\gamma$  線や中性子線等の放射線を用いてもよい。

また、コーティング用シンチレータが針状性シンチレータと異なる発光寿命や色で発光するようにしたが、発行寿命や色以外の発光条件を異なるものとして、

発光条件に基づいて異なるエネルギーや種類の放射線ないし電磁波を識別するようにしてもよい。

#### 産業上の利用可能性

- 5      本発明に係るカラーシンチレータによれば、種類やエネルギーの異なる電磁波あるいは放射線を、より少ない線量あるいは光量でより効率よく同時に光に変換することができる。

- 10      また、本発明に係るイメージセンサによれば、種類やエネルギーの異なる電磁波あるいは放射線をカラーシンチレータにより同時に光に変換し、変換された光の解像度を低下させることなく効率良く増幅させて、放射線や電磁波の種類やエネルギーの違いによる測定値の違いをより高感度で把握することができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 光ファイバを束ねた構造を有する光学基板と、この光学基板に設けられて電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して発光し、かつ針状性または柱状性の結晶構造を有する針状性シンチレータと、この針状性シンチレータをコーティングし、かつ前記針状性シンチレータと反応する電磁波あるいは放射線と異なる種類またはエネルギーの電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して前記針状性シンチレータと異なる色で発光するコーティング用シンチレータとを備えることを特徴とするカラーシンチレータ。

2. 光ファイバを束ねた構造を有する光学基板と、この光学基板に設けられて電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して発光し、かつ針状性または柱状性の結晶構造を有する針状性シンチレータと、この針状性シンチレータをコーティングし、かつ前記針状性シンチレータと反応する電磁波あるいは放射線と異なる種類またはエネルギーの電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して前記針状性シンチレータと異なる発光寿命で発光するコーティング用シンチレータとを備えることを特徴とするカラーシンチレータ。

3. 光ファイバを束ねた構造を有する光学基板と、この光学基板に設けられて電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して発光し、かつ針状性または柱状性の結晶構造を有する針状性シンチレータと、この針状性シンチレータをコーティングし、かつ前記針状性シンチレータと反応する電磁波あるいは放射線と異なる種類またはエネルギーの電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して前記針状性シンチレータと異なる発光寿命および色で発光するコーティング用シンチレータとを備えることを特徴とするカラーシンチレータ。

4. 光ファイバを束ねた構造を有する光学基板と、この光学基板に設けられ

て電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して発光し、かつ針状性または柱状性の結晶構造を有する針状性シンチレータと、この針状性シンチレータをコーティングし、かつ前記針状性シンチレータと反応する電磁波あるいは放射線と異なる種類またはエネルギーの電磁波および放射線の少なくとも一方と反応して前記

5 針状性シンチレータと異なる発光条件で発光するコーティング用シンチレータとを備えることを特徴とするカラーシンチレータ。

5. 請求の範囲1ないし3のいずれか1項に記載のカラーシンチレータと、このカラーシンチレータにより生じた光を波長ごとに選別するフィルタ機構および受光するタイミングを調整するタイミング調整機構を具備し、カラーシンチレータにより生じた光を受光して電気信号に変換する受光センサとを備えることを特徴とするイメージセンサ。

10

6. 請求の範囲1ないし3のいずれか1項に記載のカラーシンチレータと、このカラーシンチレータにより生じた光を受光して電気信号に変換する受光センサと、電界の作用により電子を加速させることにより前記電気信号を増幅させる電気信号増幅手段と、この電気信号増幅手段により増幅された前記電気信号を画像に変換する出力側シンチレータとを備えることを特徴とするイメージセンサ。

15

7. 請求の範囲1ないし3のいずれか1項に記載のカラーシンチレータと、このカラーシンチレータにより生じた光を受光して電気信号に変換し、かつ光電面が電子レンズを形成させる曲率の受光センサと、電界の作用により電子を加速させることにより前記電気信号を増幅させる電気信号増幅手段と、この電気信号増幅手段により増幅された前記電気信号を画像に変換し、かつ前記光電面側が電子レンズを形成させる曲率の出力側シンチレータとを備えることを特徴とするイメージセンサ。

20

25

8. 請求の範囲1ないし3のいずれか1項に記載され、前記放射線あるいは

電磁波の入射側が平面で光の出力側が曲面の光学基板を有するカラーシンチレータと、このカラーシンチレータにより生じた光を受光して電気信号に変換し、かつ光電面が電子レンズを形成させる曲率の受光センサと、電界の作用により電子を加速させることにより前記電気信号を増幅させる電気信号増幅手段と、この電気信号増幅手段により増幅された前記電気信号を画像に変換し、かつ前記光電面側が電子レンズを形成させる曲率の出力側シンチレータとを備えることを特徴とするイメージセンサ。

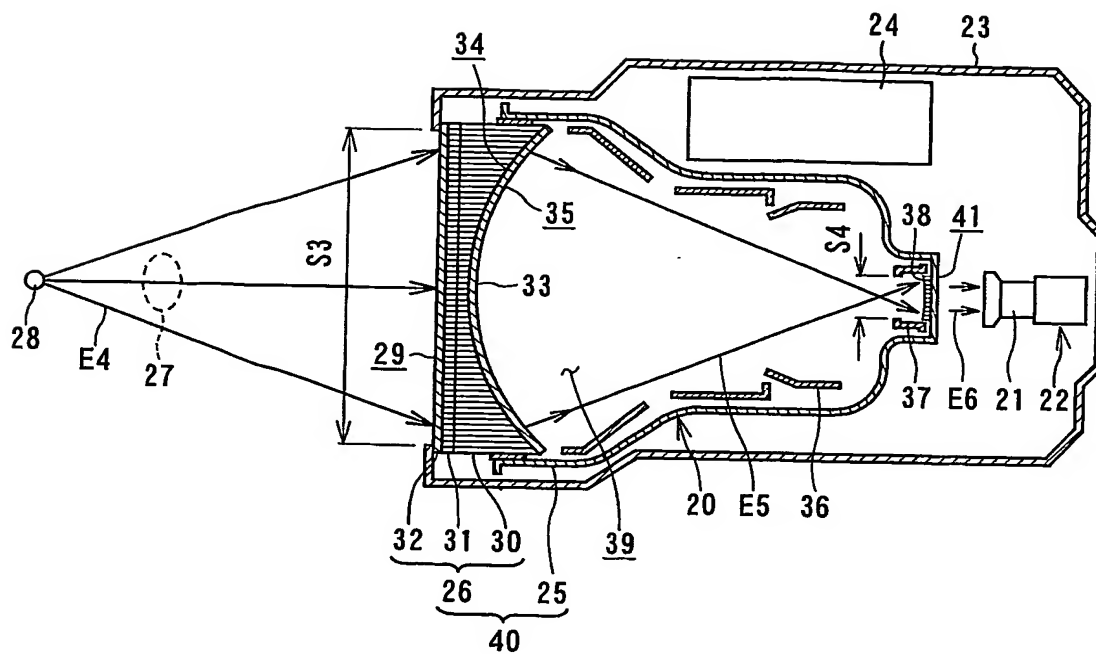
9. 請求の範囲1ないし3のいずれか1項に記載のカラーシンチレータと、このカラーシンチレータにより生じた光を受光して電気信号に変換し、かつ光電面が電子レンズを形成させる曲率の受光センサと、電界の作用により電子を加速させることにより前記電気信号を増幅させる電気信号増幅手段と、この電気信号増幅手段により増幅された前記電気信号を画像に変換し、かつ前記光電面側が電子レンズを形成させる曲率を有する曲面であるとともに平面状の出力蛍光面を形成する出力側シンチレータとを備えることを特徴とするイメージセンサ。

10. 請求の範囲1ないし3のいずれか1項に記載され、かつ前記光学基板が真空容器の一部を構成するカラーシンチレータと、このカラーシンチレータにより生じた光を受光して電気信号に変換し、かつ光電面が電子レンズを形成させる曲率の受光センサと、電界の作用により電子を加速させることにより前記電気信号を増幅させる電気信号増幅手段と、この電気信号増幅手段により増幅された前記電気信号を画像に変換し、かつ前記光電面側が電子レンズを形成させる曲率の出力側シンチレータとを備えることを特徴とするイメージセンサ。

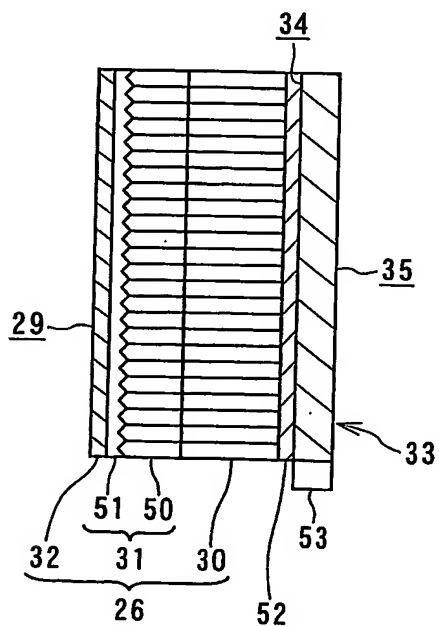
11. 請求の範囲1ないし3のいずれか1項に記載のカラーシンチレータと、このカラーシンチレータにより生じた光を受光して電気信号に変換し、かつ光電面が電子レンズを形成させる曲率の受光センサと、電界の作用により電子を加速させることにより前記電気信号を増幅させる電気信号増幅手段と、この電気信

号増幅手段により増幅された前記電気信号を電子の強度に応じて赤色、緑色、青色の発光割合の異なる光で構成される画像に変換し、かつ前記光電面側が電子レンズを形成させる曲率を有する曲面であるとともに平面状の出力蛍光面を形成する出力側シンチレータとを備えることを特徴とするイメージセンサ。

1/5

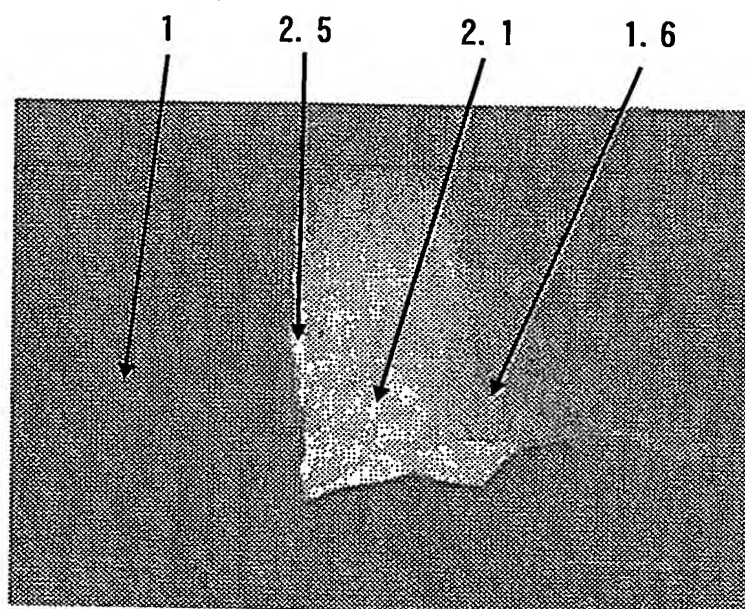


## 第1図



## 第2図

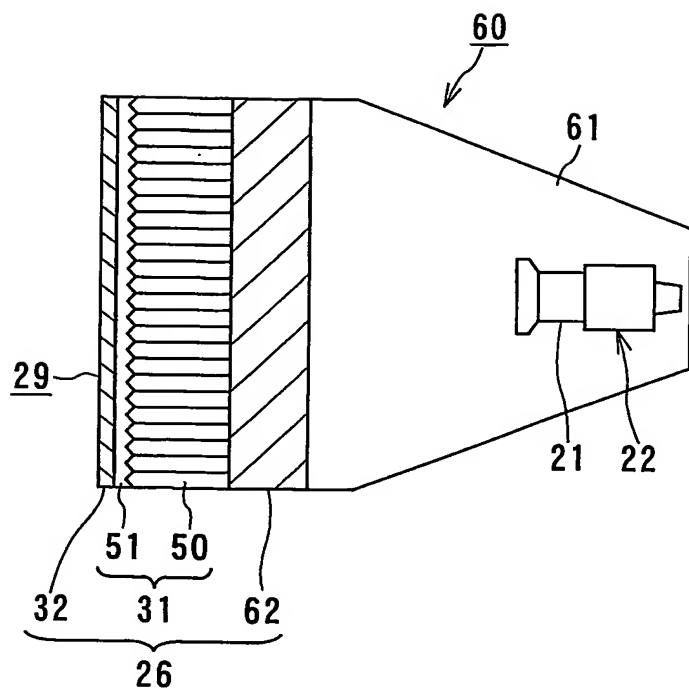
2/5



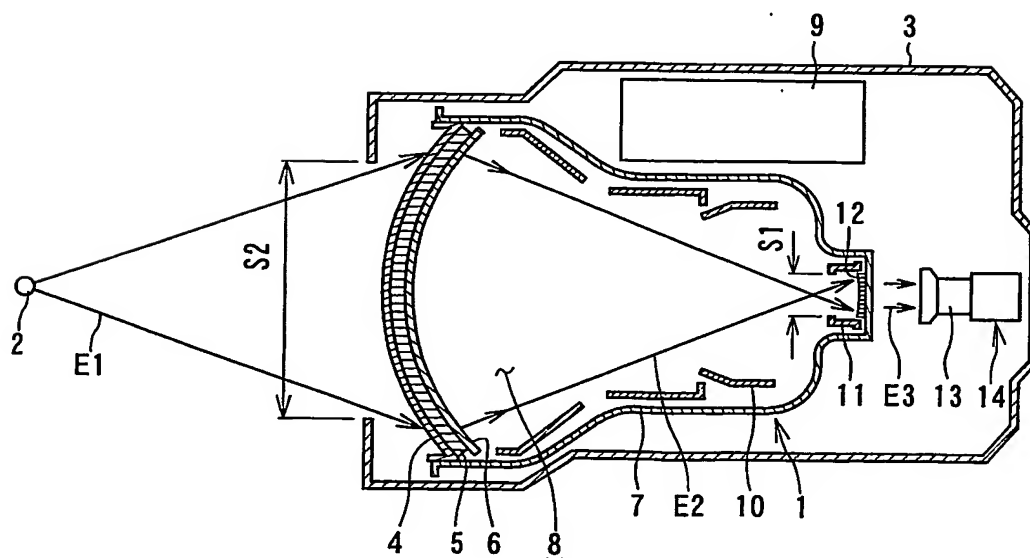
第3図



3/5

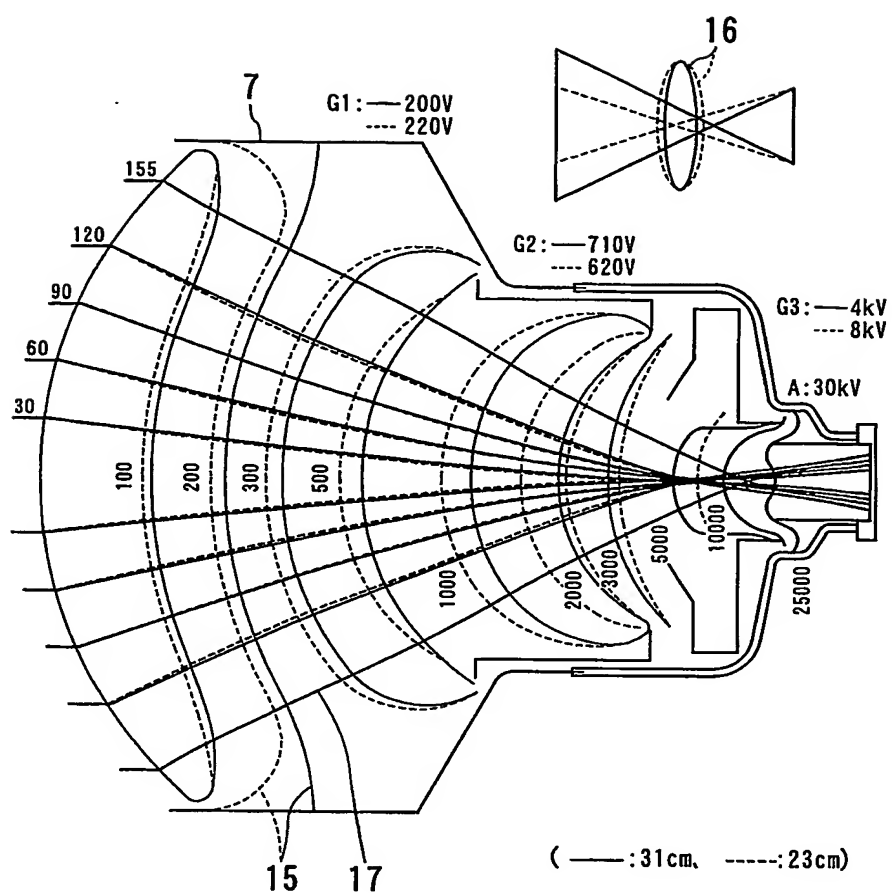


第4図



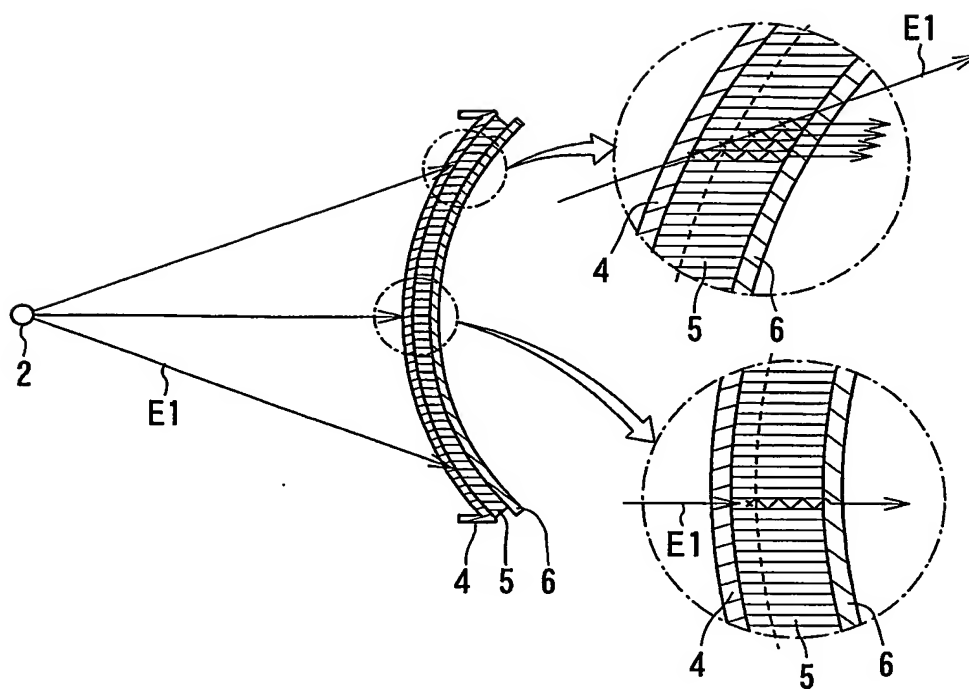
第5図

4/5



第6図

5/5



第7図

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/014714

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G01T1/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01T1/00-7/12, H01J31/50, H01J29/18, H01J29/45

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-271453 A (Toshiba Corp.), 08 October, 1999 (08.10.99), Full text; Figs. 1 to 6 & EP 947855 A & US 6313465 B	1-11
Y	JP 59-024300 A (Thomson-CSF), 07 February, 1984 (07.02.84), Full text; all drawings & DE 3369420 D & FR 2530367 A & EP 99285 A	1-11
Y	JP 2000-206254 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 28 July, 2000 (28.07.00), Par. No. [0030] (Family: none)	2,3,5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
13 December, 2004 (13.12.04)

Date of mailing of the international search report  
28 December, 2004 (28.12.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/014714

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 47-012613 A (NV Oputeishie Indasutorie Dou Oudou Derufuto), 26 June, 1972 (26.06.72), Full text; Figs. 1 to 7 (Family: none)	6-11
Y	JP 57-212737 A (N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken), 27 December, 1982 (27.12.82), Page 6, lower left column, lines 4 to 19; Fig. 3 & DE 3270736 D                      & EP 68536 A & US 4475032 A	7-11

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01T1/20

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01T1/00-7/12, H01J31/50, H01J29/18, H01J29/45

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 11-271453 A (株式会社東芝) 1999. 10. 08, 全文, 第1-6図 & EP 94785 5 A & US 6313465 B	1-11
Y	J P 59-024300 A (トムソン-シーエスエフ) 1984. 02. 07, 全文, 全図 & DE 3369420 D & FR 2530367 A & EP 99285 A	1-11
Y	J P 2000-206254 A (三菱重工業株式会社) 2000. 07. 28, 段落【0030】 (ファミリーなし)	2, 3, 5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

13. 12. 2004

国際調査報告の発送日

28.12.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

中塚 直樹

2M

3104

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

C (続き) . 関連すると認められる文献	
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 47-012613 A (エヌ・ヴィ・オブテイシエ・イン ダストリエ・ドウ・オウドウ・デルフト) 1972. 06. 26, 全文, 第1-7図 (ファミリーなし) 6-11
Y	J P 57-212737 A (エヌ・ベー・フィリップス・フル ーイランペンファブリケン) 1982. 12. 27, 第6頁左下欄 第4行目-第19行目, 第3図 & DE 3270736 D & EP 68536 A & US 4475032 A 7-11